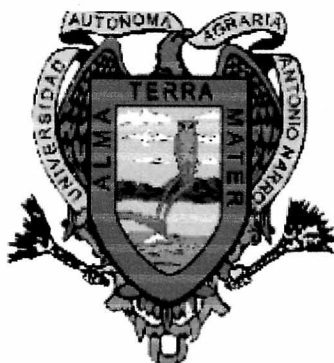


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



**"EFECTO DE LA UREA DE LIBERACIÓN LENTA EN LA
DIETA SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA Y LA
CONCENTRACIÓN DE NITROGENO UREICO EN LECHE
DE CABRAS"**

**POR:
DANIELA ESPARZA FLORES**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TITULO DE:**

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREON, COAHUILA, MÉXICO

SEPTIEMBRE DE 2005

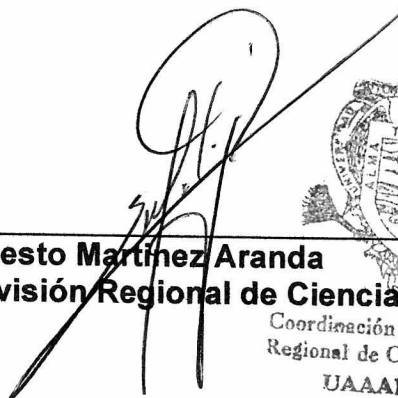
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
Unidad Laguna
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

**"EFECTO DE LA UREA DE LIBERACIÓN LENTA EN LA DIETA
SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA Y LA
CONCENTRACIÓN DE NITROGENO UREICO EN LECHE DE
CABRAS"**

APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA



**M.C. Pedro Antonio Robles Trillo
Presidente del jurado**



**M.C. Ernesto Martínez Aranda
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
Unidad Laguna
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

**TESIS:
DANIELA ESPARZA FLORES**

**“EFECTO DE LA UREA DE LIBERACIÓN LENTA EN LA
DIETA SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA Y LA
CONCENTRACIÓN DE NITROGENO UREICO EN LECHE
DE CABRAS”**

**TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR
DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:**

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

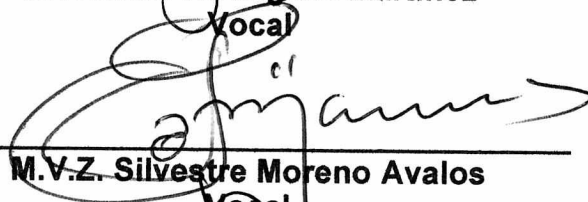


**M.C. Pedro Antonio Robles Trillo
Presidente del jurado**



Dr. Rafael Rodríguez Martínez

Vocal



M.V.Z. Silvestre Moreno Avalos

Vocal



I.Z. Jorge Horacio Borunda Ramos

Vocal

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna

Al COECYT por el apoyo económico otorgado a través de una beca

Al M.V.Z. José Guadalupe Burciaga Álvarez del Laboratorio de Análisis Clínicos Veterinarios “Burciaga”

Al INIFAP y al M.C. Jaime Romero Paredes Rubio por su colaboración

A Alltech S.A. de C.V. por la donación del producto utilizado en este experimento

RESUMEN.....	VI
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
1. TIPO DE NITRÓGENO EN ALIMENTOS DE RUMIANTES	4
2. DEGRADACIÓN DE NITRÓGENO EN EL RUMEN	6
3. ABSORCIÓN DE AMINOÁCIDOS (PROTEÍNA METABOLIZABLE)	10
4. METABOLISMO TISULAR DEL NITRÓGENO.....	11
4.1 <i>Producción de urea</i>	11
4.2 <i>Excreción de Nitrógeno</i>	16
5. DESBALANCE EN LA ALIMENTACIÓN DE N EN RUMEN	18
6. MONITOREO DEL DESBALANCE DE LA ALIMENTACIÓN PROTEICA.....	22
6.1 <i>Factores que determinan la concentración de Nitrógeno ureico</i>	23
6.2 <i>Nitrógeno ureico en sangre</i>	25
6.3 <i>Nitrógeno ureico en leche</i>	27
6.4 <i>Variación en el Nitrógeno ureico por época del año y hora del día</i>	36
MATERIALES Y MÉTODOS	39
1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO	39
2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
CONCLUSIONES	46
LITERATURA CITADA.....	47

Resumen

Se utilizaron 10 cabras de la raza Alpina con un promedio de 79 días en lactancia en un diseño experimental de switch-back para determinar el efecto de la administración dietética de la urea de liberación lenta sobre el consumo de materia seca (CMS) y la concentración de nitrógeno ureico en leche (MUN). Se utilizaron dos grupos de cinco animales cada uno (con y sin urea de liberación lenta) iniciando con un periodo de adaptación de 16 días. Los animales fueron alojados en jaulas individuales y fueron alimentados dos veces al día y se peso igualmente la cantidad de alimento ofrecido. Posteriormente se realizaron tres periodos de toma muestras para el consumo de materia seca (CMS) se tomaron muestras del rechazo cada tercer día y se procedió a determinar en el laboratorio la cantidad de MS. Se realizaron 3 periodos de adaptación con sus respectivos periodos experimentales, en los que al finalizar uno de ellos se les intercambiada la dieta a los animales. La cantidad de nitrógeno ureico en leche se realizo con un intervalo de 11 días, tomando muestra por tres días consecutivos, las cabras se ordeñaron dos veces al día, a las 9:30 y a las 16:30 hrs. El CMS no fue diferente entre tratamientos. La cantidad de nitrógeno ureico en leche fue mayor (36.25) para el grupo tratamiento que el grupo control (33.24), aunque no hubo diferencias significativas. En conclusión, la adición en la dieta de urea de liberación lenta no aumentó ni disminuyó el consumo de materia seca ni tampoco el MUN.

Introducción

El nitrógeno en la dieta de los rumiantes se divide en proteico (NP) y en no proteico (NNP). La proteína verdadera corresponde aproximadamente al 60 a 80% del nitrógeno total de la planta, y la parte restante es el nitrógeno no proteico (NNP) soluble y una cantidad pequeña de nitrógeno lignificado (Van Soest, 1982).

La proteína degradable en el rumen (PDR) es desnaturalizada por los microorganismos ruminales para la formación de proteína (Bohnert et al., 2002; Broderick, 2003). El suministro de PDR para el uso del amoníaco está en función de la materia orgánica fermentable en el rumen (Baker et al., 1995).

El NNP, la urea como ejemplo, puede ser usado efectivamente como una fuente de N para los microorganismos ruminales en las dietas para ganado lechero y de carne (Galo et al., 2003). Sin embargo, la urea tiene una tasa de solubilidad muy alta en relación a algunos alimentos (Galina et al., 2004b) por lo tanto la cantidad de NNP que puede usarse está limitada por la hidrólisis rápida del nitrógeno de esas fuentes (Galo et al., 2003). Se han llevado a cabo experimentos para determinar los efectos de la urea de liberación lenta sobre la producción y metabolismo en bovinos productores de carne y leche (Tedeschi et al., 2002; Galo et al., 2003)

La forma principal de nitrógeno utilizado por los microorganismos ruminales es el amoníaco y este se forma durante el proceso de degradación de las proteínas en el rumen y en el catabolismo de los aminoácidos en tejidos y está

disponible como sustrato para la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Van Soest, 1982; Zhu et al., 2000; Van Duinkerken et al., 2005).

El exceso de proteína cruda es degradado a amoníaco por los microorganismos ruminales y es absorbido en el torrente sanguíneo y convertido rápidamente por el hígado en urea debido a que es tóxico para los tejidos animales (Van Soest, 1982; DePeters y Ferguson, 1992; Baker et al., 1995; Jonker et al., 1998; McCormick et al., 1999; Rajala-Schultz et al., 2001; Bohnert et al., 2002; Wood et al., 2003; Van Duinkerken et al., 2005)

El amoníaco y es absorbido en el torrente sanguíneo y convertido rápidamente por el hígado en urea debido a que es tóxico para los tejidos animales (Van Soest, 1982; DePeters y Ferguson, 1992; Baker et al., 1995; Jonker et al., 1998; McCormick et al., 1999; Rajala-Schultz et al., 2001; Bohnert et al., 2002; Wood et al., 2003; Van Duinkerken et al., 2005).

La urea es el producto final más importante del metabolismo del nitrógeno y las proteínas en la mayoría de los mamíferos, incluyendo las cabras (Harmeyer y Martens, 1980; Baker et al., 1995; Broderick y Clayton, 1997; Kauffman y St-Pierre, 2001; Rajala-Schultz et al., 2001) y es medible en el torrente sanguíneo y en la leche (Rajala-Schultz et al., 2001).

La urea se forma en el hígado y resulta principalmente de un exceso en el balance de PDR, de la proteína verdadera digerida en el intestino delgado, y la gluconeogenesis de los aminoácidos (Schepers y Meijer, 1998).

La urea entra al sistema circulatorio a través de los sinusoides hepáticos, que drenan a la vena hepática y se convierte en parte del ciclo del nitrógeno

ureico en sangre (Jonker et al., 1998). La urea se difunde de la sangre a la saliva y es llevada al rumen durante la rumia, también es transportada por la difusión desde la sangre (Van Duinkerken et al., 2005).

El nitrógeno ureico en leche (MUN) puede ser usado como una herramienta de manejo para monitorear el estado nutricional de las vacas lactantes (Jonker et al., 1999; Jonker et al., 2002), por lo tanto cuando existe un desbalance en la fracción nitrogenada de la ración, esto se puede inferir por la cantidad de MUN.

En caprinos se han llevado a cabo experimentos donde se ha estudiado el efecto de la urea en la dieta con tecnologías de consumo lento pero no sobre la urea de liberación lenta por lo que se requiere mayor investigación de los efectos de este tipo de urea. Considerando que la urea de liberación lenta permite una formación pausada de amoníaco en el rumen, es posible que la sincronía en la disponibilidad de N y energía puede reflejar CMS adecuados y una cantidad similar de NUL con relación al uso de una fuente de proteína degradable como la soya.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la urea de liberación lenta en la dieta sobre el consumo de materia seca y la concentración de nitrógeno ureico en leche en cabras.

Revisión de literatura

1. Tipo de nitrógeno en alimentos de rumiantes

La práctica común es dividir el nitrógeno de las plantas en dos categorías principales, nitrógeno proteico y no proteico. La proteína verdadera corresponde aproximadamente al 60 a 80% del nitrógeno total de la planta, y la parte restante es el nitrógeno no proteico (NNP) soluble y una cantidad pequeña de nitrógeno lignificado (Van Soest, 1982).

Las proteínas de las plantas pueden clasificarse en dos grupos: proteínas de las hojas y los tallos, y las proteínas de reserva de las semillas. El primer grupo representa la materia metabolizable activamente de la planta en contraste con el segundo que son reservas, de hecho, las proteínas de las hojas son de alta calidad. Sin embargo, los aminoácidos esenciales significan poco para la planta la cual es autótrofa y capaz de sintetizar todo para sus requerimientos orgánicos (Van Soest, 1982).

Las proteínas de las hojas pueden parecer ser bajas en valor biológico debido a que la proteína cruda (PC) se expresa como nitrógeno total $\times 6.25$. Aun cuando la expresión esta restringida a la proteína verdadera, existe la variación entre diferentes fuentes de proteína (Van Soest, 1982).

La fracción de NNP soluble del forraje fresco esta compuesta de nitratos. En los henos y ensilajes fermentados, estos pueden ser reemplazados por amoniaco y aminos (Van Soest, 1982).

Las proteínas de las semillas son las principales en la planta e incluyen: albúminas, globulinas, prolaminas, y glutelinas. El efecto físico de la solubilidad

en el rumen es relevante para las albúminas, porque las concentraciones iónicas son muy bajas para la solución de globulinas y el pH muy neutro por efecto sobre otras proteínas (Van Soest, 1982).

El Consejo de investigación de los Estados Unidos de Norte América (NRC, por sus siglas en inglés) divide la proteína cruda (PC) en varias fracciones: proteína metabolizable (PM), además de proteína absorbida, proteína degradable en rumen (PDR), proteína no degradable en el rumen (PNDR) (Bohnert et al., 2002; Frank y Swensson, 2002; Gabler y Heinrichs, 2003).

Sobre las bases del criterio químico y cinético, se pueden reconocer al menos 4 clases de nitrógeno en la dieta, incluyendo el NNP soluble, la proteína degradable rápida, proteína degradable mas lenta y nitrógeno no disponible (Van Soest, 1982).

El NNP puede ser usado efectivamente como una fuente de N para los microorganismos ruminales en las dietas para ganado lechero y de carne. La cantidad de NNP que puede usarse está limitada por la hidrólisis rápida del nitrógeno de esas fuentes. Esta degradación a amoníaco puede ocurrir a una tasa más rápida que la utilización del NH_3 por las bacterias ruminales, resultando en la acumulación y escape de este elemento por las paredes ruminales. El resultado neto es que una gran parte del N de las fuentes de NNP se desperdicia y no es utilizado por las bacterias del rumen (Galo et al., 2003).

Los compuestos de NNP de liberación lenta, que se usan en la alimentación de rumiantes, incluyen: diurea, acetilurea, biuret, urea protegida con aceite de semilla de linaza y urea tratada con formaldehído. Estos

compuestos no han tenido tantas ventajas como la urea porque una parte sustancial del NNP que poseen pueden abandonar el rumen sin ser convertido a amoníaco, reduciendo su incorporación a la proteína microbiana y también porque la transformación a amoníaco de estos compuestos en el rumen, aunque mas lenta que la urea, es aun mas rápida para optimizar la producción de proteína por las bacterias ruminales (Galo et al., 2003).

De acuerdo a Tamminga citado por Frank y Swensson (2002) el contenido de nitrógeno en las dietas para las vacas lecheras no debe exceder de 30 g de N/kg de materia seca (MS), esto corresponde a un contenido de PC de 187 g/kg de MS o 18.7% de PC.

En un estudio realizado por McCormick et al. (1999) se evaluó la sustitución de gluten de maíz y harina de sangre por harina de soya y esta ultima aumentó la proteína no degradable en rumen (PNDR) y disminuyó el nitrógeno ureica en plasma (PUN, por sus siglas en inglés) pero no mejoró la reproducción de las vacas altas productoras.

Wu y Setter citados por Frank y Swensson (2002) recomendaron un mínimo de 17.5% de PC incluyendo de 35 a 37% de PNDR en vacas altas productoras tratadas con somatotropina bovina (bST).

2. Degradación de Nitrógeno en el rumen

La proteína degradable en el rumen (PDR) es desnaturalizada por los microorganismos ruminales para la formación de proteína (Bohnert et al., 2002; Broderick, 2003). Muchos de los nutrientes requeridos para el crecimiento de los microorganismos ruminales se derivan de la degradación de la PDR (Bohnert et

al., 2002). La PDR es la suma de las fracciones proteicas A, B1, B2 y B3 (Gabler y Heinrichs, 2003). El suministro de PDR para el uso del amoniacó está en función de la materia orgánica fermentable en el rumen (Baker et al., 1995). Se cree que la proteína soluble (A y B1) está disponible inmediatamente para su uso por los microorganismos ruminales y químicamente se define como las fracciones de proteína disueltas en un buffer boratofosfato, y típicamente son las fracciones A y B1.

La PDR potencial (B2 y B3) no está disponible inmediatamente para su uso como la proteína soluble pero es degradada por fracciones con el tiempo, pero no toda la fracción B2 y B3 pueden degradarse en el rumen debido a las proteínas ligadas a la lignina, a las tasas de paso y al manejo alimenticio (Gabler y Heinrichs, 2003).

Dada las diferencias de la degradación entre las fracciones de PDR (A, B1, B2 y B3) pueden afectar el uso total de la proteína y de otros nutrientes (Gabler y Heinrichs, 2003).

El balance de proteína degradada en el rumen es igual a la cantidad de proteína microbiana que es sintetizada potencialmente de la proteína degradable en el rumen y la cantidad de proteína microbiana extraída de la energía durante la fermentación en el rumen (Schepers y Meijer, 1998). El aumento del contenido de energía en la dieta puede aumentar el requerimiento de PDR (Broderick, 2003).

El uso óptimo de la PC de la dieta requiere la selección de fuentes complementarias de proteínas que proporcionen los tipos y las cantidades de

PDR que cumplirán, mas no excederán, el requerimiento de N por los microorganismos ruminales (Gabler y Heinrichs, 2003). La mayoría de las fuentes de PC tienen digestibilidades verdaderas altas; por lo tanto, el aumento en el consumo de PC que no sea nitrógeno secretado o depositado será catabolizado a urea (Broderick, 2003).

La forma principal de nitrógeno utilizado por los microorganismos ruminales es el amoníaco y este se forma durante el proceso de degradación de las proteínas en el rumen y en el catabolismo de los aminoácidos en tejidos y está disponible como sustrato para la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Van Soest, 1982; Zhu et al., 2000; Van Duinkerken et al., 2005). El amoníaco es la fuente de N preferida por las bacterias que digieren la fibra y también se requiere por el almidón, azúcar y por los fermentos secundarios para la síntesis de proteína (Song y Kennelly, 1990).

La proteína microbiana es derivada de una mezcla compleja de organismos que fluyen fuera del rumen, incluyendo las bacterias asociadas con el fluido y las fases de partícula, más los protozoarios (Reynal et al., 2003). Principalmente, la síntesis de proteína microbiana es afectada por las concentraciones ruminales de los compuestos que contienen N y por la cantidad de materia orgánica disponible para la fermentación (Soto-Navarro et al., 2003). Para asegurar la síntesis máxima de proteína microbiana, Hoover y Stokes citados por Gustafsson y Palmquist (1993) sugirieron que los carbohidratos no estructurales deben constituir del 35 al 45% de la MS de la dieta.

Las bacterias son extraordinariamente eficientes eliminando el amoníaco si es poco, pero dejarán que se acumule en fase líquida si el suministro excede sus necesidades. El suministro de N promueve el crecimiento microbiano por encima del límite del requerimiento, el cual está dado los carbohidratos fermentables disponibles, la producción de ATP y la eficiencia de conversión de las células microbianas (Van Soest, 1982).

El exceso de proteína cruda es degradado a amoníaco por los microorganismos ruminales y es absorbido en el torrente sanguíneo y convertido rápidamente por el hígado en urea debido a que es tóxico para los tejidos animales (Van Soest, 1982; DePeters y Ferguson, 1992; Baker et al., 1995; Jonker et al., 1998; McCormick et al., 1999; Rajala-Schultz et al., 2001; Bohnert et al., 2002; Wood et al., 2003; Van Duinkerken et al., 2005).

La PNDR no es una fracción constante; varía dependiendo de la tasa de flujo del rumen o de la tasa de degradación proteica en el mismo (Frank y Swensson, 2002). La PNDR es digerida directamente por la vaca, ya que pasa al intestino delgado para su digestión enzimática y su absorción potencial en forma de péptidos y aminoácidos libres (Bohnert et al., 2002; Broderick, 2003). Existe evidencia que la alimentación con PNDR mejora el rendimiento en las vacas lecheras (Mishra y Rai, 1996). Se ha reconocido que el tratamiento con calor en los alimentos es una forma efectiva de reducir la degradación proteica en el rumen (Lu et al., 1990).

De los alimentos disponibles que son altos en PNDR, la harina de pescado es a veces la más efectiva para mejorar la producción de leche (Burke et al., 1997).

3. Absorción de aminoácidos (proteína metabolizable)

La PM es la cantidad neta de proteína verdadera o de aminoácidos que provienen de la digestión enzimática en abomaso e intestino delgado y que ahí son absorbidos. Esta fracción representa la cantidad neta de proteína verdadera en el alimento y la proteína microbiana que es digerida realmente en el intestino delgado. La PM consiste de proteína microbiana + PNDR + proteína endógena (Frank y Swensson, 2002). La proteína verdadera digerida en el intestino delgado de un alimento se basa en la proteína verdadera que escapa de la degradación del rumen, la proteína microbiana sintetizada en el rumen, y las pérdidas endógenas de proteína en el tracto digestivo (Schepers y Meijer, 1998).

Las dietas altas en energía estimulan la síntesis de proteína microbiana, aumentando el suministro de la fuente principal de PM (Broderick, 2003).

La proteína verdadera digerida en el intestino delgado se requiere para mantenimiento, síntesis de proteína en leche, síntesis de proteína tisular, y reemplazo de las pérdidas endógenas de N; siendo esto influenciado por la composición de los aminoácidos de la proteína digestible ileal. La parte de la proteína digestible ileal que no es usada se desamina a amoníaco y a componentes que proporcionan energía (Hof et al., 1997; Van Duinkerken et al., 2005). En las dietas bien balanceadas, las pérdidas de amoníaco estimadas de

la proteína verdadera digerida en el intestino delgado son las más importantes y son mayores cuando el consumo excede los requerimientos (Hof et al., 1997).

La cantidad y la calidad de la proteína que llega al intestino delgado está influenciadas por el consumo de PNDR o por la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Soto-Navarro et al., 2003). A veces la cantidad y la calidad de la proteína absorbida en el intestino delgado puede limitar la producción de leche (Nousiainen et al., 2004).

Posteriormente, el exceso de aminoácidos y péptidos son desaminados en el hígado para ser transformados en urea (Jonker et al., 1998).

4. Metabolismo tisular del nitrógeno

4.1 Producción de urea

La urea es el producto final más importante del metabolismo del nitrógeno y las proteínas en la mayoría de los mamíferos, incluyendo las cabras (Harmeyer y Martens, 1980; Baker et al., 1995; Broderick y Clayton, 1997; Kauffman y St-Pierre, 2001; Rajala-Schultz et al., 2001) y es medible en el torrente sanguíneo y en la leche (Rajala-Schultz et al., 2001). Al menos el 70% del N ingerido diariamente pasa a través del ciclo de la urea del cuerpo (Harmeyer y Martens, 1980).

Cuando la cantidad total de urea en el cuerpo permanece sin cambio, el porcentaje que entra al organismo es igual al de su eliminación, entonces, el sistema está en equilibrio. Bajo estas condiciones el porcentaje de entrada de urea también podría señalarse como la tasa de retorno total o de flujo total (Harmeyer y Martens, 1980).

Las medidas del cambio total de urea proporcionan información para evaluar el porcentaje de proteína y el metabolismo del nitrógeno en el rumiante. El rango amplio del retorno total de urea refleja una habilidad particular que tienen los rumiantes para adaptar el metabolismo del N a diferentes condiciones de la dieta (Harmeyer y Martens, 1980).

La correlación entre el consumo diario de N y la tasa total de flujo de la urea responde al 77% de la variación entre la entrada total de urea y el consumo de N, la cual se describe en su mayoría por esta relación, sin importar el tipo de N suministrado en la dieta (proteína natural o NNP), ni el esquema de alimentación aplicado (por hora o dos veces al día), tampoco por la ruta por la que se suministre el N (oralmente o por infusión abomasal). El amoniaco absorbido del rumen ejerce un efecto estimulante sobre la síntesis de urea, como lo hacen los aminoácidos absorbidos en el intestino delgado (Harmeyer y Martens, 1980)..

La síntesis de urea en el cuerpo no es afectada por la ruta de transporte del N del intestino al hígado. Por ejemplo, si el alimento tiene grandes cantidades de proteínas solubles o NNP, las cuales se degradan y aumenta la absorción de amoniaco en el rumen, se puede esperar un efecto inmediato sobre la producción de urea. La mayor parte del amoniaco absorbido es tomado directamente por el hígado antes de pasar al torrente sanguíneo, y estimula la producción de urea directamente (Harmeyer y Martens, 1980). Estos mismos autores opinan que la cantidad de N consumido diariamente en la dieta es el

principal determinante de la síntesis de urea, pero su fuente y el sitio de absorción no afectan mucho la tasa de síntesis de urea.

Cerca de dos horas después del consumo de alimento, se detecta un aumento en el nivel de amoniaco en el líquido ruminal (Van Duinkerken et al., 2005). Bodeker et al. citados por (DePeters y Ferguson, 1992; Rémond et al., 1993; Gabler y Heinrichs, 2003) propusieron que el amoniaco es removido del fluido ruminal por tres rutas: 1) flujo de líquido desde el rumen, 2) absorción a través de la pared ruminal, y 3) incorporación a la proteína microbiana. Las dos primeras rutas pueden contribuir a aumentar la cantidad de nitrógeno ureico en sangre (BUN, por sus siglas en inglés). Después, el BUN alcanza su pico de 1.5 a 2 horas (Gustafsson y Palmquist, 1993; Van Duinkerken et al., 2005). Finalmente, el nitrógeno ureico en leche (MUN, por sus siglas en inglés) se equilibra con el BUN con un retraso de 1 a 2 horas (Gustafsson y Palmquist, 1993; Rodriguez et al., 1997). En total, el tiempo promedio entre el consumo de N en la dieta y el pico del MUN es de 5 horas (Van Duinkerken et al., 2005).

En los rumiantes más del 60% del N en la urea plasmática podría derivarse del amoniaco del rumen (Harmeyer y Martens, 1980). La toma del N absorbido en el torrente sanguíneo de la vaca lechera resulta de la difusión de amoniaco del rumen (Jonker et al., 1998). La urea se forma del amoniaco, de los aminoácidos y el dióxido de carbono, formados durante la fermentación ruminal y en el metabolismo intermedio, a través de un proceso cíclico de 4 pasos dependiente de ATP con citrulina y aspartato como compuestos transportadores (Harmeyer y Martens, 1980; Van Duinkerken et al., 2005). Solo la mitad del

nitrógeno ureico se origina del amoniaco libre. El aspartato proporciona la otra parte de N siendo el donador específico en la conversión de citrulina a arginina (Harmeyer y Martens, 1980).

La urea se forma en el hígado y resulta principalmente de un exceso en el balance de PDR, de la proteína verdadera digerida en el intestino delgado, y la gluconeogenesis de los aminoácidos (Schepers y Meijer, 1998).

La conversión de amoniaco a urea por el hígado se estima que tiene un costo para el animal de 12 Kcal./g de nitrógeno excretado en exceso (Van Soest, 1982). Se ha sugerido que la energía empleada en la conversión de cantidades excesivas de amoniaco a urea en el hígado puede contribuir a una reducción en la producción de leche (Godden et al., 2001b).

La urea entra al sistema circulatorio a través de los sinusoides hepáticos, que drenan a la vena hepática y se convierte en parte del ciclo del nitrógeno ureico en sangre (Jonker et al., 1998).

La habilidad para transferir urea de la sangre al tracto gastrointestinal es común en la mayoría de los mamíferos, pero en los rumiantes la urea se puede suplementar a los microorganismos ruminales y por lo tanto proporcionar aminoácidos al animal (Marini y Van Amburgh, 2003). La transferencia de urea de la sangre al tracto gastrointestinal puede no estar controlada por la degradación de urea solo en el plasma. Los factores que afectan la ejecución de la hidrólisis de urea en el organismo son la cantidad y la digestibilidad de la energía del alimento (Harmeyer y Martens, 1980).

El retorno de la urea al tracto gastrointestinal se facilita cuando se dan dietas bajas en proteína y altas en energía, por ejemplo, cuando se necesita nitrógeno adicional en el rumen. El retorno requiere un cambio funcional de las estructuras gastrointestinales y se interpreta como un cambio de permeabilidad a la urea (Harmeyer y Martens, 1980).

La cantidad de urea que reingresa por vía sanguínea al rumen está afectada por la composición de la dieta, y más particularmente por el consumo de N y energía metabolizable (EM) (Rémond et al., 1993).

La urea se difunde de la sangre a la saliva y es llevada al rumen durante la rumia, también es transportada por la difusión desde la sangre (Van Duinkerken et al., 2005). El transporte de urea al rumen vía la saliva depende de la concentración de urea en el plasma y de las tasas de secreción salival (Rémond et al., 1993).

Se ha sugerido que el amoníaco del rumen puede inhibir la entrada de urea de la sangre a este órgano. Asumiendo que el espacio de la urea es una fracción constante del peso corporal y que el PUN representa la concentración del ciclo de la urea, el tamaño del ciclo y el tiempo del retorno pueden calcularse (Marini y Van Amburgh, 2003).

Otros productos de la fermentación ruminal han estimulado la transferencia de urea al rumen, por ejemplo, CO₂ y los ácidos grasos volátiles, especialmente butirato, seguido de propionato y acetato. Los cambios en la permeabilidad del epitelio ruminal debido a los productos de fermentación proporcionan medios efectivos para regular el flujo endógeno en el rumen en

relación a los requerimientos de N de la población microbiana (Harmeyer y Martens, 1980).

El aumento del reciclaje de urea al rumen se ha asociado con una concentración elevada de ácido butírico en el líquido ruminal y un porcentaje alto de grasa (Diab y Hillers, 1996).

La urea se equilibra en el agua corporal, y el análisis cinético sugiere la transferencia pasiva de urea del plasma a la leche junto con agua (DePeters y Ferguson, 1992; Baker et al., 1995; Butler et al., 1996; Broderick y Clayton, 1997; Nousiainen et al., 2004). No hay una separación evidente de la urea con el agua en la glándula mamaria (Baker et al., 1995). El equilibrio de los niveles de urea en sangre y leche es el resultado de la difusión de urea a lo largo de los tubulos y los ductos mamarios y a través de la mucosa en el alveolo (Gustafsson y Palmquist, 1993; Van Duinkerken et al., 2005).

4.2. Excreción de Nitrógeno

En la mayoría de las especies animales la urea es excretada casi totalmente a través del riñón, pero esta no es solo un producto de desecho ya que es un precursor importante de la biosíntesis de proteína (Harmeyer y Martens, 1980).

En las vacas, alrededor del 70 a 80% del N perdido en la orina es excretado en forma de urea (Schepers y Meijer, 1998). En las vacas Holstein, la cantidad de nitrógeno excretado, medido como gramos por día (g/d), fue 12.54 x MUN, medido como miligramos por decilitro (mg/dl) (Kohn et al., 2002).

Principalmente, la cantidad de urea que es excretada por los riñones está influenciada por tres factores: 1) los cambios en la concentración de urea en plasma y los cambios correspondientes en las cargas de urea filtrada, 2) los cambios en las tasas de filtración glomerular, y 3) los cambios en la resorción tubular de urea (Bohnert et al., 2002).

La urea es filtrada de la sangre por el riñón y es excretada del cuerpo en la orina (Jonker et al., 1998; Bohnert et al., 2002). La sangre entra a los riñones a través de la arteria renal y es filtrada a través de las nefronas. Este proceso concentra la urea para su excreción en la orina. Debido al flujo contrario y a las diferencias en la permeabilidad de membrana en el asa de Henle ascendente y descendente, se crea un gradiente de concentración para la difusión de urea a la orina para remover la urea de la sangre.

El flujo de sangre a través del riñón es constante en un animal, lo cual asegura una tasa constante de filtración de urea (ml de sangre filtrados por minuto), independientemente del volumen de orina. Con un volumen bajo de orina, la concentración de urea en ésta puede ser mayor que su volumen, pero una cantidad similar de sangre puede ser limpiada de urea. Además, con concentraciones altas de urea en la sangre, más urea puede ser removida por minuto en comparación con una concentración baja, pero la cantidad total de sangre limpiada podría permanecer similar. Por lo tanto, la excreción de urea en la orina es directamente proporcional a su concentración en sangre y su cantidad es proporcional a la concentración de urea en la leche (Jonker et al., 1998).

Pero, no toda la urea filtrada por el riñón es excretada en la orina y una proporción que varía dependiendo de la concentración de orina es reabsorbida mientras el fluido tubular pasa a través de los tubulos proximales (Kauffman y St-Pierre, 2001; Van Duinkerken et al., 2005).

Debido a que la urea es una molécula neutral pequeña, esta se difunde rápidamente a través de las membranas celulares (Jonker et al., 1998). Como la leche se secreta en la glándula mamaria, la urea se difunde en y fuera de la glándula mamaria, equilibrándose con la de la sangre (Gustafsson y Palmquist, 1993; Jonker et al., 1998). Debido a este proceso, MUN se equilibra de manera proporcional y con el BUN. Este proceso permite al MUN ser una excelente herramienta para predecir el nitrógeno urinario, además de ser una herramienta rápida (Jonker et al., 1998; Broderick, 2003; Johnson y Young, 2003; Kohn et al., 2004).

5. Desbalance en la alimentación de N en rumen

El suministro de proteína se divide en N necesario para la producción de amoniaco ruminal y N en la forma de AA para el metabolismo tisular. El exceso de nitrógeno dentro del rumen que rebasa las necesidades microbianas se transforma en amoniaco, que reduce la eficiencia de la utilización del N para la formación de leche (Baker et al., 1995). Las interrelaciones entre la PC y la energía en forma de carbohidratos dentro del rumen y del cuerpo del rumiante pueden tener efectos tremendos sobre todo el uso total de los nutrientes (Gabler y Heinrichs, 2003).

La cantidad y degradabilidad de la proteína de la dieta afectan la fermentación ruminal, y tiene un efecto en la eficiencia neta de los nutrientes absorbidos (Gabler y Heinrichs, 2003).

Se puede maximizar la eficiencia de la alimentación con proteína cuando el N suplementado en la dieta es igual al N requerido por los microorganismos ruminales y los tejidos del rumiante. Este balance está asociado con la concentración base de urea en el plasma y leche (Baker et al., 1995)

Los sistemas de evaluación de proteína distinguen entre dos fuentes principales de pérdidas de N. El primero podría venir de un exceso de N que está disponible para el crecimiento microbiano en comparación con la energía disponible. El exceso es absorbido del rumen y se convierte en urea. La segunda categoría de pérdidas de N se origina de la proteína verdadera digerida en el intestino delgado, la cual se usa para mantenimiento (67%), síntesis de proteína en leche (64%) y tejidos (50%), y para reemplazar las pérdidas endógenas de N (67%) en las vacas alimentadas con un equilibrio apropiado entre la proteína y la energía disponibles (Hof et al., 1997). La concentración de amoníaco en el rumen puede variar dependiendo de la dieta, del tiempo y frecuencia de alimentación, del animal y de otros factores. El grado en que el amoníaco es utilizado en el rumen depende principalmente de la tasa de liberación y del balance de carbohidratos y de la disponibilidad de N. Si la energía está limitada, los microorganismos ruminales degradan las proteínas a amoníaco, y su consumo microbiano es suprimido (Hristov et al., 2005).

El aumento en la cantidad de proteína en la dieta y las concentraciones elevadas de amoníaco en el rumen pueden disminuir la entrada de urea de la sangre al rumen, lo cual apunta a un control regulador de la degradación de urea por intermediarios de la fermentación ruminal (Harmeyer y Martens, 1980).

El exceso de N en el rumen o en tejidos post-ruminales aumenta la concentración de urea en plasma y leche por encima de los valores base, aumenta la excreción de urea en la orina y sugiere un desperdicio de N e ineficiencia en la alimentación de proteína (Baker et al., 1995).

Existen relaciones complejas entre la proteína y la energía de la dieta y la cantidad de proteína que será utilizada por la vaca lechera. Estas relaciones tienen ramificaciones importantes en la eficiencia de N total de la ración del hato (Broderick, 2003).

El exceso en los AA que se proporcionan a los tejidos puede resultar en la desaminación de los AA sin usar y en la conversión de estos en urea (Baker et al., 1995).

El principal problema con el exceso de nitrógeno es la emisión de amoníaco de la orina y el excremento (Frank y Swensson, 2002). Los desechos animales pueden contribuir a la contaminación del medio ambiente con nitrógeno como amoníaco volátil en el aire, nitratos y N en la superficie del agua (Jonker et al., 1998).

Las concentraciones altas de urea en los fluidos corporales de las vacas reduce la eficiencia metabólica de la producción de leche, tiene un impacto negativo sobre la salud y la reproducción y contribuye a la contaminación

ambiente debido a que >95% de la urea endógena se excreta en la orina (Baker et al., 1995; Jonker et al., 1998).

El uso eficiente de N en la dieta debería reflejarse en las respuestas de producción que maximizan el N en leche como proteína verdadera y minimizan el N como MUN (Baker et al., 1995).

Las fuentes dietéticas y las cantidades de energía, PC y grasa de la dieta están asociadas con una variación en la producción de leche y en la distribución de las fracciones de N en la leche (Rodríguez et al., 1997).

La proteína suplementada puede aumentar la producción de leche por las siguientes razones: más aminoácidos (AA) para su síntesis proteica en leche, aumentando la energía disponible a través de la desaminación de los AA, o alterando la eficiencia de la utilización de los nutrientes absorbidos (Godden et al., 2001b).

Los investigadores como Godden et al. (2001b) han reportado que el aumento en los niveles de proteína aumentaron el consumo de materia seca y también tienen un efecto indirecto de incremento de consumo de energía.

Se ha demostrado que la sobrealimentación con proteína tiene un impacto negativo sobre la salud y la fertilidad del ganado lechero, ya que se disminuye la eficiencia reproductiva del ganado (McCormick et al., 1999; Sinclair et al., 2000; Godden et al., 2001b; Rajala-Schultz et al., 2001) porque se altera la fisiología del ovario y el útero, resultando en una insuficiencia luteal y pérdida embrionaria (Sinclair et al., 2000). También se disminuye el pH uterino, y se reducen las tasas de concepción, además se han reportado concentraciones bajas de

progesterona en estos animales (Butler et al., 1996). La sobrealimentación también contribuye a la contaminación ambiental y a costos altos de alimentación (Rodríguez et al., 1997).

Uno de esos mecanismos que pueden explicar el porque el exceso de proteína en la dieta impacta negativamente la reproducción, es la energía adicional que el animal gasta para desintoxicar el NH₃ en el hígado (Melendez et al., 2000). Sin embargo, otros reportes no encontraron una asociación entre la concentración de proteína en la dieta y los rasgos reproductivos (Rajala-Schultz et al., 2001).

Mientras que la subalimentación con proteína podría resultar en una menor fertilidad y en una producción de leche más baja (Godden et al., 2001b).

Por lo tanto, se ha sugerido que uno de los beneficios de la identificación y corrección de deficiencias, excesos o desbalances en la proteína y energía de la dieta podrían mejorar la salud y la productividad del animal (Godden et al., 2001c).

6. Monitoreo del desbalance de la alimentación proteica

Las concentraciones de BUN y MUN son buenos indicadores del metabolismo y consumo de las proteínas y actualmente se utilizan como herramientas para evaluar las dietas (Butler et al., 1996; Cannas et al., 1998). Las concentraciones de PUN y MUN están en función del suministro de proteína en la dieta en relación a los requerimientos (Baker et al., 1995).

El MUN y el BUN son indicadores del estado proteico de los rumiantes cuando la dieta contiene la energía adecuada (Baker et al., 1995; Jonker et al.,

1999; Melendez et al., 2000). El MUN es un buen método para estimar el BUN (Broderick y Clayton, 1997; Melendez et al., 2000), ya que las concentraciones de urea en leche están muy correlacionadas con las del plasma (Baker et al., 1995; Broderick y Clayton, 1997; Bava et al., 2001; Rajala-Schultz et al., 2001; Hojman et al., 2004; Nousiainen et al., 2004) y se ha indicado que el 93% de la variación en MUN se debe a la variación en PUN (Baker et al., 1995). El análisis cinético ha sugerido que la concentración de MUN es un indicador razonable de la concentración media de urea en plasma. La concentración de urea en leche puede ser un indicador mejor de la concentración media de urea en plasma que el PUN debido a que la leche integra la variación en la concentración en plasma (Baker et al., 1995).

Los resultados del estudio realizado por Rodríguez et al. (1997) indicaron que el MUN, siguiendo muy de cerca el patrón del PUN₁ que fue mayor que este último cuando las concentraciones de urea en leche fueron medidas en toda la leche. En el estudio de Gustafsson y Palmquist (1993) resalta que cuando las muestras de leche eran tomadas cada hora, hubo un retraso de 1 hora entre el equilibrio de MUN y PUN, y las concentraciones de PUN fueron menores que las de MUN cuando el PUN estaba disminuyendo. Sin embargo, Roseler et al. (Roseler et al., 1993) reportaron que el MUN tendió a ser menor que el PUN en vacas alimentadas con PDR variante.

6.1 Factores que determinan la concentración de Nitrógeno ureico

Cuando el porcentaje de PNDR fue de 41%, no se afectaron las concentraciones de PUN o MUN por las diferencias en la fermentación ruminal,

especialmente en la concentración de amoníaco. El principal factor que afectó el amoníaco en rumen, el PUN y el MUN fue el tiempo en relación a la alimentación (Rodríguez et al., 1997). Otros estudios han sugerido que las concentraciones de urea pueden permanecer constantes a través del día en animales con una frecuencia de alimentación alta o continua (Godden et al., 2001c).

También se ha encontrado que las concentraciones de urea en el suero y en la leche son sensibles a la PC, PDR, PNDR, energía y relación proteína – energía (Larson et al., 1997; Godden et al., 2001a; Godden et al., 2001c). En la investigación de Baker et al. (1995), se demostró que la cantidad de PC y los desbalances de PDR y PNDR afectaron las concentraciones de PUN y MUN, siendo esto apoyado por otros autores (Roseler et al., 1993). Otro estudio ha mostrado un incremento en las concentraciones de PUN y MUN cuando hay un exceso de PNDR (Baker et al., 1995).

Las raciones con un aumento en el contenido de proteína cruda para cabras y otros rumiantes producen un incremento proporcional del ciclo de la urea y la concentración de urea en el plasma (Harmeyer y Martens, 1980).

En un trabajo realizado por Oltner y Wiktorsson y citados por Roseler et al (1993) y Godden et al. (2001a) se reportó que las concentraciones de urea no fueron tanto el resultado de los niveles absolutos de proteína o energía en la dieta, sino de la relación proteína:energía (P:E).

Kauffman y St-Pierre (2001) observaron una variación pequeña en el PUN a través del tiempo en las vacas alimentadas con dietas con el 13% de PC. El PUN excedió la concentración media de MUN en todos los tiempos del

muestreo. Bajo un proceso de difusión, esto solo pudo lograrse si la tasa de difusión de la urea desde la sangre hasta el alveolo mamario fue mucho más baja que la tasa de secreción de agua al alveolo por las células epiteliales mamarias.

6.2 Nitrógeno ureico en sangre

La concentración de urea en el plasma está relacionada positivamente con el consumo de N diario y puede servir como un índice de la tasa de entrada de urea (Harmeyer y Martens, 1980; Bohnert et al., 2002). El PUN refleja el porcentaje de proteína cruda en la dieta, la relación de PC a materia orgánica fermentable ruminalmente y metabolismo postruminal de proteínas (Roseler et al., 1993; Diab y Hillers, 1996; Pailan y Kaur, 1996). La concentración plasmática de urea ha sido de gran ayuda para predecir otros parámetros del metabolismo del N (Harmeyer y Martens, 1980).

El N en el BUN puede derivarse al menos de dos fuentes, la digestión de los compuestos nitrogenados en el tracto gastrointestinal o el catabolismo de los aminoácidos en el hígado (DePeters y Ferguson, 1992).

Los cambios en la concentración de urea en el plasma coinciden con los cambios del ciclo de la urea en el cuerpo. En términos cinéticos, el ciclo de la urea está controlado por la relación del porcentaje constante de la entrada de urea y las pérdidas irreversibles. Si la tasa constante de entrada de urea excede la tasa constante de las pérdidas irreversibles, el ciclo de la urea aumenta y viceversa. Por lo tanto, los cambios en el BUN no siempre reflejan los cambios

en el porcentaje total de entrada de urea (Harmeyer y Martens, 1980; Cannas et al., 1998).

La relación estrecha entre la concentración de urea plasmática y el ciclo de la urea se basa en que la urea pasa fácilmente a través de la mayoría de las membranas celulares y se espera que sea distribuida equitativamente entre varios compartimientos de agua corporal, en los cuales la urea se disuelve. En cabras, estos compartimientos de agua representan una fracción constante de cerca del 50% del peso corporal (Harmeyer y Martens, 1980).

La tasa de flujo de urea, el tamaño del ciclo de la urea y la concentración de urea en el plasma responden a cambios de la dieta, particularmente al aumento del consumo diario de N. Además, no existe una relación cercana entre el retorno de la urea y la concentración de urea en el plasma lo cual indica un control regulador del metabolismo de la urea en cabras y otros rumiantes (Harmeyer y Martens, 1980).

Los rumiantes, incluyendo las cabras, son capaces de controlar la excreción de urea alterando las funciones excretoras de los riñones, cambiando la habilidad del tracto gastrointestinal para hidrolizar la urea, o cambiando las funciones de ambos órganos (Harmeyer y Martens, 1980; Bohnert et al., 2002).

La cantidad de BUN o PUN y MUN, pueden ser afectados por enfermedades o medicamentos. Cualquier enfermedad o condición que reduzca la filtración glomerular como la deshidratación, enfermedad cardíaca y enfermedad renal o cualquier condición que incremente el catabolismo de las

proteínas pueden resultar en un aumento del nivel de nitrógeno ureico en sangre (Guo et al., 2004).

Las concentraciones de BUN de >19 o >20 mg/dl están asociadas con una disminución en las tasas de gestación de vacas y vaquillas. También se ha indicado que el PUN elevado está asociado con tasas de concepción más bajas y una disminución en el pH uterino varios días después del estro (Butler et al., 1996; Larson et al., 1997).

6.3 Nitrógeno ureico en leche

Las tres principales fracciones de N en la leche son caseína nitrogenada, el nitrógeno proteico del suero de la leche, y el nitrógeno no proteico, que constituyen aproximadamente el 77.9, 17.2 y 4.9% del nitrógeno total de la leche (Rodríguez et al., 1997).

La urea, en forma de MUN, constituye una gran proporción de la fracción de NNP en leche (Baker et al., 1995; Rodríguez et al., 1997; Wood et al., 2003).

Las concentraciones de MUN y de NNP en leche varían similarmente con los desbalances de PDR y PNDR; además, la medida del contenido de NNP en leche es un reflejo de la concentración de MUN (Baker et al., 1995).

La distribución de las fracciones de N de la leche pueden ser afectadas por la temperatura ambiental, enfermedades, parto, etapa de lactancia, raza y nutrición (Rodríguez et al., 1997).

Rodríguez et al. (1997) reportaron que las concentraciones de NNP en leche aumentaron de 29 a 40 mg/dl, y MUN expresado como porcentaje de NNP

se incrementó de 20 a 45%, cuando la concentración de PC en la dieta aumentó de 12.2 a 17.6% de materia seca.

Los valores normales/blanco para MUN se considera que están entre el rango de 10 a 15 mg/dl para vacas.(Rajala-Schultz y Saville, 2003).

El nitrógeno ureico en leche (MUN) puede ser usado como una herramienta de manejo para monitorear el estado nutricional de las vacas lactantes (Jonker et al., 1999; Jonker et al., 2002). Las concentraciones de MUN deben usarse para monitorear el consumo de PC en la dieta más cercanos a los requerimientos debido a que 1) el exceso en el consumo de N podría afectar el rendimiento reproductivo, posiblemente a través de concentraciones de urea elevadas en los fluidos del tracto urogenital; 2) el consumo en exceso de PC incrementa los requerimientos de energía por 13.3 kcal de energía digestible/g de exceso de N; 3) los suplementos de proteína son los ingredientes mas caros; 4) la excreción de N en exceso tiene un impacto ambiental negativo (Broderick y Clayton, 1997; Schepers y Meijer, 1998; Rajala-Schultz y Saville, 2003).

Los beneficios de usar la urea en leche como una herramienta de monitoreo para ayudar a optimizar la eficiencia del uso de la proteína de la dieta, incluyen el mejoramiento de la eficiencia y la reducción de los costos de producción y reducción de la excreción de nitrógeno al medio ambiente (Baker et al., 1995; Godden et al., 2001a; Peterson et al., 2004), ya que es un indicador metabólico del desperdicio de N (Baker et al., 1995); sin embargo, esta puede tener una utilidad limitada para diagnosticar el rendimiento reproductivo (Godden et al., 2001a). También, los niveles de MUN pueden ayudar a indicar el nivel de

estrés metabólico en una vaca, particularmente al inicio de la lactancia (Wood et al., 2003). Se ha demostrado que la producción de leche afecta las concentraciones de MUN por la correlación cercana entre la producción y la tasa de proteína a energía (ME o NEL) en la dieta (Jonker et al., 1998; Godden et al., 2001a; Rajala-Schultz y Saville, 2003; Hojman et al., 2004).

La asociación positiva entre urea en leche y la producción puede atribuirse al aumento en la producción lo cual resulta de niveles mayores de proteína en la dieta (Godden et al., 2001b). Pero también, los niveles de MUN dependen del balance de carbohidratos fermentables y proteína en el rumen, no solo de la cantidad de PC en la dieta (Rajala-Schultz et al., 2001).

Mientras que la relación negativa entre la urea en leche y la producción puede explicarse porque la contribución de energía asociada con la conversión de cantidades excesivas de amoníaco a urea puede contribuir a que haya menos energía disponible para la producción de leche (Godden et al., 2001c).

Otros factores que influyen en la relación entre la urea en leche y la producción pueden incluir el tipo y la calidad de la proteína en la dieta proporcionada, incluyendo la disponibilidad de aminoácidos (Godden et al., 2001c; Wood et al., 2003).

La variación en MUN se ha relacionado con la relación proteína a energía de la dieta consumida (Schepers y Meijer, 1998; Jonker et al., 1999; Nousiainen et al., 2004). Además, aunque la urea en leche indica el balance relativo entre la proteína y la energía (tasa proteína: energía), esta no indica cuales de estos dos nutrientes se encuentran en exceso o en deficiencia (Godden et al., 2001b;

Godden et al., 2001c). La urea en leche parece ser moderada cuando los niveles de proteína y energía están balanceados uno con otro, ya sea que ambos satisfagan los requerimientos, o que estén deficientes (Godden et al., 2001b).

Se debe tener cuidado en que algún ingrediente en particular no esté en exceso o deficiente en la ración en relación con los requerimientos del animal. Por ejemplo, si la harina de soya se da en exceso y el maíz no es suficiente, habrá un exceso de proteína en la dieta relativo a la energía disponible, y resultarán concentraciones altas de MUN (Jonker et al., 1999).

El MUN elevado y la pérdida en la producción de leche pueden resultar también de un balance inapropiado de PDR y PNDR y puede indicar que existe un exceso de proteína en ese nivel de producción (Schepers y Meijer, 1998; Jonker et al., 1999). El exceso de la degradación de proteína en el rumen (niveles más altos de PDR en comparación a los requerimientos) puede conducir a concentraciones altas de MUN (Jonker et al., 1999). Una sobrealimentación con proteína en la dieta afecta la calidad de la leche; por lo tanto, se produce más urea (Frank y Swensson, 2002).

Baker et al (1995) reportaron que mientras la urea en leche fue afectada por la PC, la PDR y la PNDR, no se vio asociada con el balance de AA. La elevación en la concentración de MUN indica un exceso de N para los microorganismos del rumen, los tejidos del rumiante, o ambos. En su estudio, las dietas balanceadas para PC, PDR y PNDR con fuentes de proteína de alta calidad resultó en concentraciones de MUN de 15.1 mg/dl. Los excesos en la PC y los desbalances de PDR y PNDR pueden elevar el MUN por encima de este

valor e indican un exceso en el suministro de N a los microorganismos ruminales, tejidos del rumiante o ambos.

Las concentraciones medias de urea en leche tuvieron una relación negativa con los carbohidratos no fibrosos (CNF), y con las relaciones de CNF:PC, CNF:PDR, CNF:PNDR y Forraje:concentrado (Godden et al., 2001c).

Kohn et al. (2002) realizaron dos estudios en los que se ofrecieron dietas similares con cuatro niveles de PDR, y la PC fue de 13.1 a 16.6% de la MS. El MUN tuvo un rango de 9.5 mg/dl en la dieta de PC baja y 16.4 mg/dl en la dieta con PC alta en el primer estudio, y en el segundo de 6.6 a 13.3 mg/dl, respectivamente.

Sin embargo, el exceso de proteína en los tejidos (niveles más altos de PNDR en comparación a los requerimientos) puede resultar en un MUN elevado. El balanceo adecuado de las fracciones de proteína puede reducir el MUN y aumentar la producción de leche (Jonker et al., 1999).

Existen dos escenarios, que la dieta ha sido balanceada para un nivel de producción de leche que no es real o que las vacas no producen de acuerdo a su potencial. Dependiendo de las circunstancias, pueden utilizarse diferentes caminos para reducir el MUN. El primer paso en ambos escenarios es examinar la formulación de la ración debido a que se necesita determinar si la dieta es formulada para cumplir con los requerimientos nutricionales de la vaca. Si la ración es simplemente balanceada para un nivel de producción que no es factible, el rebalanceo a niveles más bajos podría reducir el exceso de consumo de proteína y la concentración de MUN. Pero si la producción de la vaca se ve

disminuida, un examen de la formulación de la ración podría revelar un suministro inadecuado de energía para el nivel de producción deseado. Corrigiendo la deficiencia de energía, se aumenta la producción de leche y subsecuentemente la concentración más baja de MUN (Jonker et al., 1999).

Godden et al. (2001a) reportaron que cuando se balancea relacionadamente a la energía y la proteína de la dieta, resulta en una cantidad de urea en la leche moderada y estable. Esto puede ocurrir bajo tres diferentes circunstancias de proteína:energía (P:E): cuando los niveles absolutos de proteína y energía están en niveles bajos (ejem, $P_B:E_B$), cuando están en niveles moderados (ejem, $P_M:E_M$), o cuando son niveles altos (ejem, $P_A:E_A$). Por otra parte, Oltner y Wiktorsson citados por Godden et al. (Godden et al., 2001a) reportaron que las concentraciones altas de urea son el resultado de una relación de P:E alta, que puede deberse a tres posibles circunstancias diferentes cuando la proteína está en exceso en relación a la energía ($P_A:E_B$, $P_A:E_M$, o $P_M:E_B$). Otra vez, mientras que cada una de estas tres situaciones de P:E pueden resultar en concentraciones similares y altas de urea, pueden tener efectos diferente sobre la fertilidad.

Debido a las diferencias genéticas en la habilidad para metabolizar la proteína, las concentraciones de MUN pueden diferir aun cuando los animales consuman la misma dieta, aunque a la fecha no hay estudios publicados que hayan investigado esta posibilidad (Wood et al., 2003).

Un examen adecuado de la dieta ayudará a aclarar la causa del MUN alto y conducirá a los cambios apropiados de la dieta para reducir el MUN.

Reformulando la dieta al nivel de producción con una concentración de proteína baja puede reducir los costos de alimentación. Sin embargo, antes de hacerlo, se debe identificar la causa específica del MUN alto (Jonker et al., 1999).

El MUN elevado podría también ocurrir debido a los factores de manejo. Una ración totalmente mezclada (TMR, por sus siglas en inglés) mezclada inapropiadamente puede resultar en la distribución inadecuada de nutrientes que permiten a algunas vacas el consumir más proteína que otras. La composición de nutrientes de los forrajes puede cambiar dramáticamente de campo a campo y de corte a corte, así que se requiere un análisis adecuado y a tiempo del forraje para la formulación exacta. Si cualquiera de los ingredientes tiene un daño por calor, una proporción significativa de las proteínas unidas puede reducir la proteína absorbida, en consecuencia, el MUN será mas bajo de lo esperado (Jonker et al., 1999).

También puede haber diferencias fisiológicas o de comportamiento que pueden afectar la urea en leche. Por ejemplo, la cantidad más baja de urea en la leche en los animales primíparos se puede atribuir al soporte del crecimiento tisular y a la eficiencia mayor en la utilización de los AA. Como resultado, la desaminación de los AA y la subsecuente formación de urea en el hígado se puede reducir (Godden et al., 2001b).

Algunos factores que pueden contribuir en la variación de la urea en leche son: la raza, el número de partos, el peso corporal, los días en lactancia, el mes del año, las diferencias en el consumo de materia seca, la adaptación microbiana del rumen, y su capacidad de absorción, así como la cantidad de

orina excretada y de agua ingerida (Schepers y Meijer, 1998; Godden et al., 2001b; Wood et al., 2003; Hojman et al., 2004). Los cambios en la composición de nutrientes de la ración o en los programas de alimentación que ocurren entre los grupos de parto y en las diferentes etapas de la lactancia pueden contribuir a la variación observada en la urea en leche (Godden et al., 2001b). Un factor menor que tiene influencia en la concentración de urea en leche es la síntesis de urea por la glándula mamaria (Van Duinkerken et al., 2005).

Existen otras fuentes de MUN, por ejemplo, el catabolismo de la arginina en la glándula mamaria, pero es de menor importancia (DePeters y Ferguson, 1992; Nousiainen et al., 2004).

El porcentaje de grasa en la leche está asociado positivamente con el MUN en las vacas altas productoras; con un porcentaje mayor de grasa en leche, la concentración de MUN se incrementa (Rajala-Schultz y Saville, 2003).

En el estudio de Melendez et al. (2000), los investigadores especularon que las concentraciones altas de MUN pueden tener un sinergismo con el efecto negativo del estrés calórico o un efecto negativo directo en los procesos fisiológicos reproductivos.

Varios estudios han reportado los efectos negativos del BUN o MUN sobre el rendimiento reproductivo en las vacas y sugieren que la sobrealimentación con PC causó un estrés reproductivo. Sin embargo, en otros estudios no se encontraron efectos negativos en la fertilidad de las vacas con un MUN alto (Guo et al., 2004). Elrod y Butler citados por Guo et al. (2004) sugirieron que el MUN alto puede asociarse con una disminución en el pH

uterino, lo cual puede crear en el útero un ambiente inadecuado para el desarrollo embrionario.

Los valores de MUN altos se asociaron con una probabilidad menor de que las vacas queden gestantes (Rajala-Schultz et al., 2001). Sin embargo, Melendez et al. (2000) no encontraron una asociación entre el MUN y la falta de gestación. Estas contradicciones podrían ser explicados por uno o más mecanismos biológicos. Uno de esos mecanismos que pueden explicar el porque el exceso de proteína en la dieta impacta negativamente la reproducción es la energía adicional que el animal gasta para desintoxicar el NH_3 en el hígado.

Pero los resultados obtenidos por Rajala-Schultz et al. (2001) indican que el aumento en los niveles de MUN parecen estar asociados de forma negativa con la fertilidad de las vacas lecheras y además disminuyen la probabilidad de quedar gestantes.

Las vacas con valores de MUN entre 10.0 y 12.7 o entre 12,7 y 15.4 mg/dl tuvieron 1.4 y 1.2 veces más probabilidades de quedar gestantes, respectivamente, que los animales con más de 15.4 mg/dl (Rajala-Schultz et al., 2001).

Las vacas con los valores medios de MUN por debajo de 10.0 mg/dl antes de la concepción o al final del estudio tuvieron 2.4 más posibilidades de quedar gestantes que las vacas con más de 15.4 mg/dl (Rajala-Schultz et al., 2001). Sin embargo, Jenkins et al. (1999) aseguran que cuando el MUN alcanza los 20 mg/dl inician los problemas patológicos.

6.4 Variación en el Nitrógeno ureico por época del año y hora del día

En el estudio llevado a cabo por Rodríguez et al. (1997) no se observaron efectos de la dieta, pero la concentración de PUN cambio a través del tiempo, aumentándose de las 00:00 a las 04:00 h y de las 08:00 a las 12:00 h, disminuyendo de las 4:00 a 8:00 h y de las 16:00 a 20:00 h. Un incremento aparente en el PUN y MUN después de la alimentación se puede deber parcialmente al aumento de la concentración de amoníaco en el rumen.

Un número limitado de estudios han reportado que las concentraciones de urea en suero fueron menores en los hatos donde se proporcionaba una ración TMR y en los que los animales tienen el alimento disponible continuamente, en comparación con los establos en que los alimentos proteicos y energéticos pueden ser ofrecidos en menor frecuencia y no siempre al mismo tiempo (Godden et al., 2001c).

Las concentraciones de PUN tienden a incrementarse en el otoño, disminuir a mitad del invierno, y tener su pico al inicio de la primavera; los cambios están relacionados probablemente con las diferencias en la etapa de lactación de las vacas y de los cambios en la disponibilidad y composición química del rye grass (McCormick et al., 1999).

Además, la urea en leche varió por la temporada, el mes, el grupo de parto, la etapa de lactancia y el tipo de muestreo (Godden et al., 2001b). Generalmente, los estudios han reportado que mientras que las concentraciones de proteína total y verdadera (principalmente caseína) en leche son menores durante los meses de verano; la fracción de NNP de la leche, la cual incluye urea, se incrementa (Godden et al., 2001b; Godden et al., 2001c). La urea en

leche fue mayor durante la última etapa del verano (Julio a septiembre). Las concentraciones de urea en leche fueron generalmente más bajas durante los primeros 60 días en leche, más altas entre los 60 y 150 días, y después bajaron después de los 150 días aproximadamente (Godden et al., 2001b).

Las concentraciones más bajas de MUN al inicio de la lactancia pueden relacionarse y explicarse por la incapacidad de las vacas para ingerir la cantidad suficiente de alimento, lo cual conducirá a, o será el resultado de una función subóptima de la flora ruminal (Rajala-Schultz y Saville, 2003).

En el estudio realizado por Rajala-Schultz y Saville (2003), la concentración de MUN se incrementó por varios meses después del parto, luego disminuyó y se estabilizó durante la lactancia media.

Las concentraciones pico de MUN ocurrieron a 63 días en leche, y el pico de producción a los 35 días (Jonker et al., 1998).

Sin embargo, puede haber una variación diurna en los valores de MUN, y algo de esa variación depende del tiempo en que se proporciona el alimento y del tiempo de ordeña en relación con la obtención de la muestra, alcanzando su pico de 3 a 5 horas después de la alimentación (Godden et al., 2001c; Rajala-Schultz et al., 2001; Rajala-Schultz y Saville, 2003). El intervalo corto de alimentación-ordeña (0 a 6 horas) típico del período de muestreo de las tardes en los hatos lecheros, y el intervalo largo en el período matutino, puede explicar el porque la urea en leche es más baja en las muestras de la mañana en muchos establos (Godden et al., 2001b).

Según, los resultados obtenidos por Gustafsson y Palmquist (1993) sugieren que las variaciones diurnas en la urea en suero y leche pueden ser una fuente importante de error cuando la concentración de urea en leche se usa como un indicador de la alimentación y la nutrición.

período de 24 horas. El cálculo de consumo de MS (Kg) se determinó por diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado. La composición de los ingredientes y la composición química de las dietas DC y DT se presentan en los cuadros 1 y 2, respectivamente.

Cuadro 1 Composición de ingredientes de las dietas

Ingrediente	Dietas	
	Kg de MS	
	DC	DT
Alfalfa	1.8	1.8
Semilla de algodón	0.14	0.1
Maíz rolado	0.45	0.48
Melaza	0.04	0.04
Soya	0.14	0.02
Optigen (ULL)	0	0.01
Grano seco de destilería	0	0.02
Salvado de trigo	0	0.08
Cascarilla de soya	0.05	0.03
ExcelSoy	0.04	0.09
Gluten de Maíz	0.01	0.01
Minerales y vitaminas	0	0
Total	2.68	2.67

DC= Dieta control con soya; DT= Dieta con urea de liberación lenta, MS=materia seca

Cuadro 2 .-Composición química de las dietas

Componente	DC	DT	
% MS		100	100
% de la MS			
PC		17.6	17.92
PNDR		26.09	24.03
PDR		73.91	75.97
ENL (mCal/kg)		1.6	1.57
FDN		37.34	37.41
CNF		35.7	36.57
EE total		4.46	3.73
Calcio		0.95	0.94
Fósforo		0.32	0.35

PC= proteína cruda, PNDR= proteína no degradable en rumen, PDR: proteína degradable en rumen, CNF= Carbohidratos no fibrosos

2.2 Obtención de las muestras para urea en leche

Las muestras de leche se obtuvieron en la ordeña normal, la cual se realizó de forma manual y dos veces al día, a las 9:30 y las 16:30 h, durante tres días consecutivos. Las muestras obtenidas en la mañana y en la tarde se mezclaron para ser analizadas posteriormente.

Las muestras fueron analizadas para determinar la concentración de Nitrógeno ureico mediante el Fossomatic 5000 (Foss North America, Brampton, Ontario).

Resultados y discusión

Considerando que la urea de liberación lenta permite una formación de amoníaco en el rumen más pausada es posible que la sincronía en la disponibilidad de N y energía puede reflejar CMS adecuados y una cantidad similar de NUL con relación al uso de una fuente de proteína degradable como la soya.

Los resultados se muestran en el cuadro 3. En él se observa que en cuanto al consumo de materia seca no hubo diferencias entre tratamientos, aunque numéricamente fue menor el consumo del grupo control.

También, se muestran los resultados con respecto al MUN obtenidos tanto del grupo control y del grupo testigo, no observándose diferencia significativa entre ambos grupos, pero numéricamente fue mayor la concentración de MUN en el grupo testigo.

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos por consumo de materia seca (CMS) (kg), y nitrógeno ureico en leche (MUN) (mg/dl).

	Control	Testigo	EE	P > 0.05
CMS	2.64	2.65	0.047	0.867
MUN	33.24	36.25	1.27	0.12

Los resultados de este trabajo están por encima de los reportados por Bava et al. (2001) quienes midieron la concentración de MUN en cabras Sannen con el fin de comparar una dieta basada en ensilaje contra una dieta no forrajera, estos investigadores encontraron el MUN en un rango de 15.3 hasta 31.3 mg/dl.

Por otro lado, Pailan y Kaur (1996) al evaluar los efectos de la variación del contenido y degradabilidad de la proteína en la dieta en algunos parámetros sanguíneos y en la composición y producción de leche en cabras encontraron concentraciones de MUN de 49.75 a 52.4 mg/dl al.

En vacas, los valores de MUN son mucho menores que en las cabras, como demuestran los resultados de Rajala-Schultz et al (2001), los cuales muestran una concentración de MUN de entre 10.0 hasta 15.4 mg/dl. Mientras que Kohn (2002) reportó valores de 9.5 a 16.4 mg/dl al proporcionar una dieta con un porcentaje de PC de entre 13.1 a 16.6%.

Dentro de los alcances de la revisión hecha en este trabajo, no se encontraron otras investigaciones realizadas sobre el uso de la urea de liberación lenta (ULL) en caprinos; sin embargo, Galo et al (Galo et al., 2003) en un trabajo realizado con bovinos productores de leche reportaron que el MUN fue más alto para la ración que contenía 18% de PC mas ULL, y resultados similares entre la dieta con 18% de PC sin ULL y la dieta con 16% de PC con ULL, lo cual no concuerda con los resultados de este trabajo.

Una posible explicación a los resultados del presente trabajo es que la liberación de la urea en el rumen haya sido lenta como lo demostró Galo et al (2003) al evaluar su liberación in vitro en agua destilada, aunado a la fermentabilidad alta de las fuentes de carbohidratos en la dieta, lo que resulta en una fermentación continua y una cantidad suficiente de nitrógeno.

También, Tedeschi et al. (Tedeschi et al., 2002) compararon el rendimiento de animales Angus suplementados con urea de liberación lenta y

con urea al realizar dos pruebas. En la primera prueba no se encontraron diferencias entre los tratamientos donde se suplemento el 100% de urea u optigen para la deficiencia de N ruminal, pero los animales en el tratamiento con el 50% de urea tuvieron una ganancia de peso en promedio y una conversión alimenticia mayores que los animales con 50% de optigen. En la segunda prueba, las combinaciones de urea y optigen no afectaron el rendimiento animal. Estos investigadores concluyeron que no se mejoró el rendimiento animal al sustituir la urea con urea de liberación lenta en los niveles que comúnmente se encuentran en las dietas de los corrales de engorda, aunque no midieron parámetros como el PUN y el MUN, pero si hubo si se encontraron diferencias en el consumo de materia seca.

Galina et al (Galina et al., 2004a) utilizaron 160 cabritos de la raza Alpina y se les proporcionaron dos dietas diferentes, una con rastrojo de maíz y urea de consumo lento y la otra con heno de alfalfa y un concentrado balanceado y evaluaron la degradación in situ de la materia seca, consumo de materia orgánica, degradación ruminal, concentraciones de amoniacó y ácidos grasos volátiles, digestibilidad aparente, pH, carbohidratos fermentables totales y ganancia de peso. Los resultados obtenidos mostraron que los forrajes altos en fibra como el rastrojo de maíz pueden usarse eficientemente por los cabritos en crecimiento, cuando se mejoran las condiciones para los microorganismos ruminales mediante una suplementación continua de urea de consumo lento.

Estos mismos autores realizaron otro estudio con 86 cabritos de la raza Alpina separados en dos grupos, unos suplementados con urea de consumo

lento y los otros con un concentrado balanceado para evaluar los mismos parámetros del experimento pasado y llegaron a la conclusión que la suplementación con urea de consumo lento ofrece nutrientes al rumen, mejora el consumo de materia seca, aumenta el pH ruminal y los animales tienen ganancias de peso mayores (Galina et al., 2004b).

Otra explicación de los resultados obtenidos en este trabajo que probablemente la fermentabilidad alta de las fuentes de carbohidratos en la dieta y que los animales tengan una alimentación a libre acceso, resulta en una fermentación continua y una cantidad suficiente de N para soportar esta fermentación ruminal (Tedeschi et al., 2002).

Los factores que limitaron esta investigación fue el número de animales reducido por lo que se requiere investigación de los efectos de la urea de liberación lenta donde se evalué con un mayor número de animales y con cantidades más elevadas de ULL. Además existe poca información de esto en vacas, y en cabras no hay datos publicados hasta el momento.

La ULL no afecto al consumo de MS ni la cantidad de MUN en cabras, por lo que bajo las condiciones de este trabajo es un alternativa para ser usada como proteína degradable en las raciones de cabras en lactación.

Conclusiones

En este estudio se llegó a la conclusión que el uso de urea de liberación lenta no aumentó el consumo de materia seca ni la concentración de nitrógeno ureico en leche, pero sí puede ser benéfico como una fuente para sustituir la soya de las raciones de los animales productores de leche.

Aunque otros autores, sí han encontrado un efecto sobre el CMS en ganado de carne, esto no se encontró en vacas lecheras, por lo que se necesita mayor investigación al respecto.

Literatura citada

- Baker, L. D., J. D. Ferguson, and W. Chalupa. 1995. Responses in urea and true protein feeding schemes for protein of milk to different dairy cows. *J Dairy Sci* 78: 2424-2434.
- Baldi, A., Bodina, S., Cheli, F., Gandolfi, F., Pinotti, L., Baraldi Scesi, L., Fantuz, F., Dell'Orto, V. 2002. Bovine Somatotropin administration to dairy goats in late lactation: effects on mammary gland function, composition and morphology. *J Dairy Sci* 85:1093-1102.
- Bava, L., L. Rapetti, G. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, and G. Succi. 2001. Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *J Dairy Sci* 84: 2450-2459.
- Bohnert, D., C. Schauer, and T. DelCurto. 2002. Influence of rumen protein degradability and supplementation frequency on performance and nitrogen use in ruminants consuming low-quality forage: Cow performance and efficiency of nitrogen use in wethers. *J Anim Sci* 80: 1629-1637.
- Broderick, G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 86: 1370-1381.
- Broderick, G. A., and M. K. Clayton. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *J Dairy Sci* 80: 2964-2971.
- Burke, J. M., C. R. Staples, C. A. Risco, R. L. De la Sota, and W. W. Thatcher. 1997. Effect of ruminant grade menhaden fish meal on reproductive and productive performance of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 80: 3386-3398.
- Butler, W. R., J. J. Calaman, and S. W. Beam. 1996. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *J Anim Sci* 74: 858-865.
- Cannas, A., A. Pes, R. Mancuso, B. Vodret, and A. Nudda. 1998. Effect of dietary energy and protein concentration on the concentration of milk urea nitrogen in dairy ewes. *J Dairy Sci* 81: 499-508.
- DePeters, E. J., and J. D. Ferguson. 1992. Nonprotein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *J Dairy Sci* 75: 3192-3209.
- Diab, I. A. K., and J. K. Hillers. 1996. Effect of selection for milk yield and dietary energy on yield traits, bovine somatotropin, and plasma urea nitrogen in dairy cows. *J Dairy Sci* 79: 682-688.
- Frank, B., and C. Swensson. 2002. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows and milk yield, concentration of urea in milk and ammonia emissions. *J Dairy Sci* 85: 1829-1838.
- Gabler, M., and A. Heinrichs. 2003. Altering soluble and potentially rumen degradable protein for prepubertal holstein heifers. *J Dairy Sci* 86: 2122-2130.
- Galina, M. A., M. Guerrero, C. D. Puga, and G. F. W. Haenlein. 2004a. Effect of a slow-intake urea supplementation on growing kids fed corn stubble or alfalfa with a balanced concentrate. *Small Ruminant Research* 53: 29-38.

- Galina, M. A., M. Guerrero, C. D. Puga, and G. F. W. Haenlein. 2004b. Effectos of slow-urea supplementation on goat kids pasturing natural mexican rangeland. *Small Ruminant Research* 55: 85-95.
- Galo, E., S. M. Emanuele, C. J. Sniffen, J. H. White, and J. R. Knapp. 2003. Effects of a polymer-coated urea product on nitrogen metabolism in lactating holstein dairy cattle. *J Dairy Sci* 86: 2154-2162.
- Godden, S. M., D. F. Kelton, K. D. Lissemore, J. S. Walton, K. E. Leslie, and J. H. Lumsden. 2001a. Milk urea testing as a tool to monitor reproductive performance in ontario dairy herds. *J Dairy Sci* 84: 1397-1406.
- Godden, S. M., K. D. Lissemore, D. F. Kelton, K. E. Leslie, J. S. Walton, and J. H. Lumsden. 2001b. Factors associated with milk urea concentrations in ontario dairy cows. *J Dairy Sci* 84: 109-114.
- Godden, S. M., K. D. Lissemore, D. F. Kelton, J. S. Walton, and J. H. Lumsden. 2001c. Relationships between milk urea concentrations and nutritional management, production, and economic variables in ontario dairy herds. *J Dairy Sci* 84: 1128-1139.
- Guo, K., E. Russek-Cohen, M. A. Varner, and R. A. Kohn. 2004. Effects of milk urea nitrogen and other factors on probability of conception of dairy cows. *J Dairy Sci* 87: 1878-1885.
- Gustafsson, A. H., and D. L. Palmquist. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea, and milk urea in dairy cows at high and low yields. *J Dairy Sci* 76: 475-484.
- Harmeyer, J., and H. Martens. 1980. Aspects of urea metabolism in ruminants with reference to the goat. *J Dairy Sci* 63: 1707-1728.
- Hof, G., M. D. Vervoorn, P. J. Lenaers, and S. Tamminga. 1997. Milk urea nitrogen as a tool to monitor the protein nutrition of dairy cows. *J Dairy Sci* 80: 3333-3340.
- Hojman, D., O. Kroll, G. Adin, M. Gips, B. Hanochi, and E. Ezra. 2004. Relationships between milk urea and production, nutrition, and fertility traits in israeli dairy herds. *J Dairy Sci* 87: 1001-1011.
- Hristov, A. N., J. K. Ropp, K. L. Grandeen, S. Abedi, R. P. Etter, A. Melgar, and A. E. Foley. 2005. Effect of carbohydrate source on ammonia utilization in lactating dairy cows. *J Anim Sci* 83: 408-421.
- Jenkins, D. M., M. J. Delwiche, E. J. DePeters, and R. H. Bondurant. 1999. Chemical assay of urea for automated sensing in milk. *J Dairy Sci* 82: 1999-1004.
- Johnson, R. G., and A. J. Young. 2003. The association between milk urea nitrogen and dhi production variables in western commercial dairy herds. *J Dairy Sci* 86: 3008-3015.
- Jonker, J. S., R. A. Kohn, and R. A. Erdman. 1998. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 81: 2681-2692.
- Jonker, J. S., R. A. Kohn, and R. A. Erdman. 1999. Milk urea nitrogen target concentrations for lactating dairy cows fed according to national research council recommendations. *J Dairy Sci* 82: 1261-1273.

- Jonker, J. S., R. A. Kohn, and J. High. 2002. Use of milk urea nitrogen to improve dairy cow diets. *J Dairy Sci* 85: 939-946.
- Kauffman, A. J., and N. R. St-Pierre. 2001. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in holstein and jersey cows. *J Dairy Sci* 84: 2284-2294.
- Kohn, R. A., K. R. French, and E. Russek-Cohen. 2004. A comparison of instruments and laboratories used to measure milk urea nitrogen in bulk-tank milk samples. *J Dairy Sci* 87: 1848-1853.
- Kohn, R. A., K. F. Kalscheur, and E. Russek-Cohen. 2002. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J Dairy Sci* 85: 227-233.
- Larson, S. F., W. R. Butler, and W. B. Currie. 1997. Reduced fertility associated with low progesterone postbreeding and increased milk urea nitrogen in lactating cows. *J Dairy Sci* 80: 1288-1295.
- Lu, C., M. Potchoiba, T. Sahlu, and J. Kawas. 1990. Performance of dairy goats fed soybean meal or meat and bone meal with or without urea during early lactation. *J Dairy Sci* 73: 726-734.
- Marini, J., and M. Van Amburgh. 2003. Nitrogen metabolism and recycling in holstein heifers. *J Anim Sci* 81: 545-552.
- McCormick, M. E., D. D. French, T. F. Brown, G. J. Cuomo, A. M. Chapa, J. M. Fernandez, J. F. Beatty, and D. C. Blouin. 1999. Crude protein and rumen undegradable protein effects on reproduction and lactation performance of holstein cows. *J Dairy Sci* 82: 2697-2708.
- Melendez, P., A. Donovan, and J. Hernandez. 2000. Milk urea nitrogen and infertility in florida holstein cows. *J Dairy Sci* 83: 459-463.
- Mishra, S., and S. N. Rai. 1996. Influence of varying rdp:Udp ratios in diets on digestion, nitrogen utilization and milk production efficiency in goats. *Small Ruminant Research* 20: 39-45.
- Nousiainen, J., K. J. Shingfield, and P. Huhtanen. 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *J Dairy Sci* 87: 386-398.
- Pailan, G. H., and H. Kaur. 1996. Influence of dietary protein content and digestibility on milk yield and blood constituents in lactating goats. *Small Ruminant Research* 20: 47-51.
- Peterson, A. B., K. R. French, E. Russek-Cohen, and R. A. Kohn. 2004. Comparison of analytical methods and the influence of milk components on milk urea nitrogen recovery. *J Dairy Sci* 87: 1747-1750.
- Rajala-Schultz, P. J., and W. J. A. Saville. 2003. Sources of variation in milk urea nitrogen in ohio dairy herds. *J Dairy Sci* 86: 1653-1661.
- Rajala-Schultz, P. J., W. J. A. Saville, G. S. Frazer, and T. E. Wittum. 2001. Association between milk urea nitrogen and fertility in ohio dairy cows. *J Dairy Sci* 84: 482-489.
- Rémond, D., J. Chaise, E. Delval, and C. Poncet. 1993. Net transfer of urea and ammonia across the ruminal wall of sheep. *J Anim Sci* 71: 2785-2792.
- Reynal, S., G. A. Broderick, S. Ahvenjärvi, and P. Huhtanen. 2003. Effect of feeding protein supplements of differing degradability on omasal flow of microbial and undegraded protein. *J Dairy Sci* 86: 1292-1305.

- Rodriguez, L. A., C. C. Stallings, J. H. Herbein, and M. L. McGilliard. 1997. Diurnal variation in milk and plasma urea nitrogen in holstein and jersey cows in response to degradable dietary protein and added fat. *J Dairy Sci* 80: 3368-3376.
- Roseler, D. K., J. D. Ferguson, C. J. Sniffen, and J. Herrema. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in holstein cows. *J Dairy Sci* 76: 525-534.
- Schepers, A. J., and R. G. M. Meijer. 1998. Evaluation of the utilization of dietary nitrogen by dairy cows based on urea concentration in milk. *J Dairy Sci* 81: 579-584.
- Sinclair, K., L. Sinclair, and J. Robinson. 2000. Nitrogen metabolism and fertility in cattle: I. Adaptive changes in intake and metabolism to diets differing in their rate of energy and nitrogen release in the rumen. *J Anim Sci* 78: 2659-2669.
- Song, M., and J. Kennelly. 1990. Ruminal fermentation pattern, bacterial population and ruminal degradation of feed ingredients as influenced by ruminal ammonia concentration. *J Anim Sci* 68: 1110-1120.
- Soto-Navarro, S. A., A. L. Goetsch, T. Sahl, R. Puchala, and L. J. Dawson. 2003. Effects of ruminally degraded nitrogen source and level in a high concentrate diet on site of digestion in yearling boer x spanish wether goats. *Small Ruminant Research* 50: 117-128.
- Tedeschi, L. O., M. J. Baker, D. J. Ketchen, and D. G. Fox. 2002. Performance of growing and finishing cattle supplemented with a slow-release urea product and urea. *Can J Anim Sci* 82: 567-573.
- Van Duinkerken, G., G. Andre, M. C. J. Smits, G. J. Monteny, and L. B. J. Sebek. 2005. Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *J Dairy Sci* 88: 1099-1112.
- Van Soest, P. J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. O&B books inc.
- Wood, G. M., P. J. Boettcher, J. Jamrozik, G. B. Jansen, and D. F. Kelton. 2003. Estimation of genetic parameters for concentrations of milk urea nitrogen. *J Dairy Sci* 86: 2462-2469.
- Zhu, L., L. Armentano, D. Bremner, R. Grummer, and S. Bertics. 2000. Plasma concentration of urea, ammonia, glutamine around calving, and the relation of hepatic triglyceride, to plasma ammonia removal and blood acid-base balance. *J Dairy Sci* 83: 734-740.